

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-148544

(43)Date of publication of application : 29.05.2001

(51)Int.Cl.

H01S 5/323

H01L 21/205

H01L 33/00

(21)Application number : 2000-270988

(71)Applicant : SHARP CORP

(22)Date of filing : 07.09.2000

(72)Inventor : UEDA YOSHIHIRO
YUASA TAKAYUKI
OGAWA ATSUSHI
TSUDA YUZO
ARAKI MASAHIRO

(30)Priority

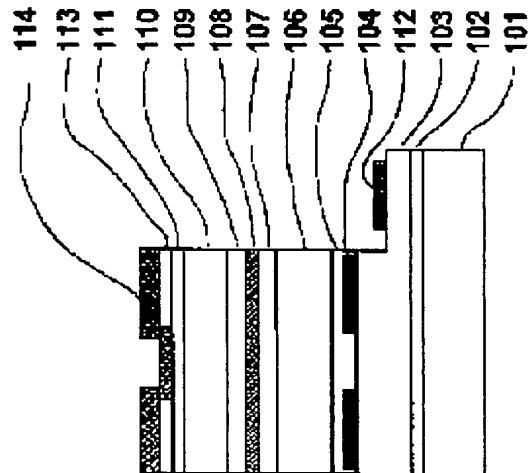
Priority number : 11256487 Priority date : 10.09.1999 Priority country : JP

(54) SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To suppress a light leaking from a propagation layer to a clad layer from generating a light which propagates in multiple mode between a substrate and a light-confining clad layer by making a Si-doped GaN film thick, to improve the characteristics of a crystal constituting a laser.

SOLUTION: A growth suppression film 104 is formed on an n-GaN layer 103, an InGaN re-grown layer 105 is formed from a part, where the growth suppressing film 104 is not formed, thereby lessening the dislocation propagating from the substrate interface and improving the characteristics of a light-emitting element formed thereon.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 27.09.2006

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of

rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-148544
(P2001-148544A)

(43) 公開日 平成13年5月29日 (2001.5.29)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テームト* (参考)

H 0 1 S 5/323

H 0 1 S 5/323

H 0 1 L 21/205

H 0 1 L 21/205

33/00

33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2000-270988 (P2000-270988)

(22) 出願日 平成12年9月7日 (2000.9.7)

(31) 優先権主張番号 特願平11-256487

(32) 優先日 平成11年9月10日 (1999.9.10)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者 上田 吉裕

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ャープ株式会社内

(72) 発明者 湯浅 貴之

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ャープ株式会社内

(74) 代理人 100102277

弁理士 佐々木 晴康 (外2名)

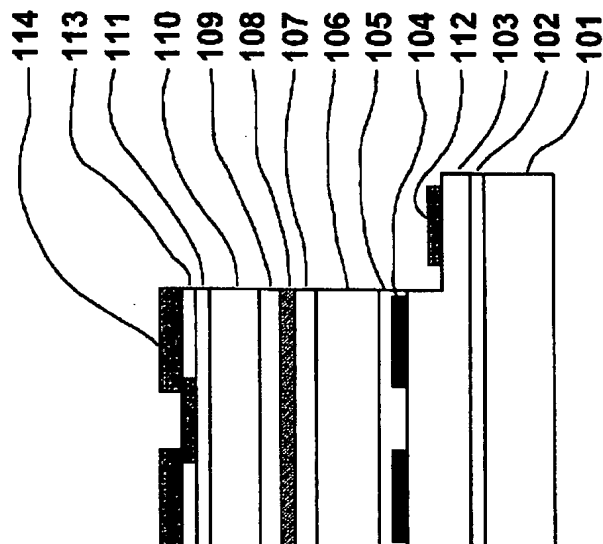
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 レーザを構成する結晶の特性を向上させるためにS i ドープG a N膜を厚膜化することによって伝搬層から光閉じ込めを行うクラッド層へ漏れた光が基板とクラッド層の間に多重モードの伝搬光を発生させることを抑制する。

【解決手段】 n-G a N層103の上に成長抑制膜104を形成し、成長抑制膜104の形成されていない部分からI n G a N再成長層105を形成することによって、基板界面から伝搬する転位を減少させ、その上に作成した発光素子の特性を向上させる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、窒素化合物半導体層と、窒素化合物半導体層表面の一部に形成された成長抑制膜と、再成長層と活性層を有する半導体発光素子において、再成長層は窒素化合物半導体層と成長抑制膜の上に形成され、Inを含むことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】 成長抑制膜は、ストライプ状の欠如部を有し、該ストライプ欠如部に対応する位置の有効屈折率を該ストライプ欠如部の周辺に比べて高くすることにより、該ストライプ欠如部に対応する位置でレーザ発振を生じせしめることを特徴とする請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項3】 成長抑制膜は、ストライプ状の欠如部を有し、かつ少なくとも一部に絶縁膜を含むことを特徴とする請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項4】 成長抑制膜は、レーザストライプの鉛直下方に形成されているとともに、活性層で発生した光を吸収または反射する材料で構成されていることを特徴とする請求項1から3のいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項5】 成長抑制膜は、上記基板と上記活性層の間に形成されていることを特徴とする請求項1から4のいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項6】 活性層は再成長層より上に形成され、再成長層は、成長抑制膜の欠如部に対応する位置に凹部を有し、活性層は再成長層の凹凸形状に沿って形成されていることを特徴とする請求項1から3のいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項7】 活性層は再成長層より上に形成され、再成長層は成長抑制膜に対応する位置に凹部を有し、活性層は再成長層の凹凸形状に沿って形成されていることを特徴とする請求項1または3のいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項8】 窒素化合物半導体積層構造の製造方法において、第1の窒素化合物半導体を形成する工程と、第1の窒素化合物半導体表面の一部に成長抑制膜を形成する工程と、成長抑制膜が形成されない窒素化合物半導体表面からInを含む窒素化合物半導体の形成を始める工程と、を含むことを特徴とする窒素化合物半導体積層構造の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は高温での温度特性が優れた窒素化合物半導体膜及び、窒素化合物半導体より構成された表示素子やディスプレイ、光ディスクの光源に用いる発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】 窒素化合物半導体は発光素子やハイパワーデバイスとして利用、研究されている。例えば発光素子の場合、その組成を調整することにより、理論的には

青色から橙色まで、幅広い波長範囲で発光素子として利用することができる。近年、その特性を利用して青色発光ダイオードや緑色発光ダイオードが実用化され、さらに青紫色半導体レーザ素子が開発されつつある。

【0003】 窒素化合物半導体膜を製造する際の基板として、サファイア、SiC、スピネル、Si、GaAs等が使用される。例えばサファイア基板を使用する場合、GaN膜をエピタキシャル成長する前に、あらかじめ500℃～600℃程度の低温でGaNまたはAlNのバッファ層を形成し、その後、基板温度を1000℃～1100℃に昇温して窒化物半導体膜のエピタキシャル成長を行うと、表面状態が良く、構造的及び電氣的に良好な結晶が得られる。また、SiC基板の場合には、エピタキシャル成長を行う成長温度で薄いAlNバッファ層を用いることにより高質な結晶が得られる。

【0004】 しかしながら、どの基板を使用しても、窒化物半導体膜との熱膨張係数、格子定数の違いにより、製造された窒素化合物半導体中に $10^{10} \text{ cm}^{-2} \sim 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ にも達する高密度の欠陥が存在する。この欠陥は刃状転移と螺旋転移に分類される。

【0005】 これらの欠陥は、キャリアトラップとして作用するため、製造した結晶の電氣的特性を損ねることが知られており、特にレーザのように大電流を注入する素子に対しては寿命特性の劣化を招くため、欠陥を低減させる試みが行われている。

【0006】 例えば、Appl. Phys. Lett. 71 (18) p 2638-2640や、Appl. Phys. Lett. 71 (16) p 2259-2261では、GaN膜中にSiO₂のマスクを形成し、選択成長をすることで、マスク上部の欠陥密度が1～2桁低減することが公表されている。同様にマスクを用いて選択成長を行う方法では、第45回応用物理学関連講演会講演予稿集28a-ZS-6にタングステンマスクを用いて選択成長し、電子デバイスに適応する報告がなされている。また、レーザに関して、上記SiO₂の選択成長技術を応用して結晶内の転移密度を低減させて作製したレーザの報告が、例えば応用電子物性分科会誌第4巻第2号1989p53-58に記載されている。この報告では、n型のGaN膜上にストライプ状のSiO₂選択成長マスクを形成し、更にその上にn型のGaN膜を成長してSiO₂膜を被覆し、平坦な表面を作製してSiO₂被覆部上にレーザ構造を形成することで、レーザ素子内の欠陥を低減して素子特性を向上した内容が記されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 上述した方法によりGaN膜上にSiO₂のマスクを形成し、選択成長を行うと、GaN自体が高温下で不安定であるため、成長条件によりSiO₂マスク上の選択成長膜の結合部分でボイドを生じたり（例えば、Appl. Phys. Lett

t. 71 (18) 1997 p 2638-2640に記載)、一箇所に集中して刃状欠陥が発生することがあった(例えば、Appl. Phys. Lett. 71 (16) 1997 p 2259-2261に記載)。また、一様で平坦なGaN膜を得ようとすると、減圧下で成長する必要があった。

【0008】上記課題に加えて、異種基板上に窒化物半導体レーザ素子を作製する際に発生する固有の問題がある。すなわち、レーザを構成する結晶の特性を向上させるためには下地となるSiドーパGaN膜を厚くしなければならぬが、厚膜化によって伝搬層から光閉じ込めを行うクラッド層へ漏れた光が基板とクラッド層の間に多重モードの伝搬光を発生させる。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体発光素子は、基板と、窒素化合物半導体層と、窒素化合物半導体層表面の一部に形成された成長抑制膜と、再成長層と活性層を有する半導体発光素子において、再成長層は窒素化合物半導体層と成長抑制膜の上に形成され、Inを含むことを特徴とする。

【0010】本発明の半導体発光素子は、成長抑制膜は、ストライプ状の欠如部を有し、該ストライプ欠如部に対応する位置の有効屈折率を該ストライプ欠如部の周辺に比べて高くすることにより、該ストライプ欠如部に対応する位置でレーザ発振を生じせしめることを特徴とする。

【0011】本発明の半導体発光素子は、成長抑制膜は、ストライプ状の欠如部を有し、かつ少なくとも一部に絶縁膜を含むことを特徴とする。

【0012】本発明の半導体発光素子は、成長抑制膜は、レーザストライプの鉛直下方に形成されているとともに、活性層で発生した光を吸収または反射する材料で構成されていることを特徴とする。

【0013】本発明の半導体発光素子は、成長抑制膜は、上記基板と上記活性層の間に形成されていることを特徴とする。

【0014】本発明の半導体発光素子は、活性層は再成長層より上に形成され、再成長層は、成長抑制膜の欠如部に対応する位置に凹部を有し、活性層は再成長層の凹凸形状に沿って形成されていることを特徴とする。

【0015】本発明の半導体発光素子は、活性層は再成長層より上に形成され、再成長層は成長抑制膜に対応する位置に凹部を有し、活性層は再成長層の凹凸形状に沿って形成されていることを特徴とする。

【0016】本発明の窒素化合物半導体積層構造の製造方法は、窒素化合物半導体積層構造の製造方法において、第1の窒素化合物半導体を形成する工程と、第1の窒素化合物半導体表面の一部に成長抑制膜を形成する工程と、成長抑制膜が形成されない窒素化合物半導体表面からInを含む窒素化合物半導体の形成を始める工程

と、を含むことを特徴とする。

【0017】

【発明の実施の形態】まず、本発明を詳細に説明する。

【0018】一般に、窒素化合物半導体を結晶成長する際の基板として、サファイア、SiC、GaN、GaAs、MgAl₂O₃等が用いられる。また、結晶成長法として、有機金属気相成長法(以下MOCVD法)、分子線エビタキシー法(以下MBE法)、ハイドライド気相成長法(以下H-VPE法)を用いるのが通例である。しかし、作製する窒素化合物半導体の結晶性や量産性を考慮すると、基板としてサファイアまたはGaNを使用し、MOCVD法により結晶成長するのが最も一般的である。サファイア基板を用いてMOCVD法により製造した窒素化合物半導体レーザの例を以下に記述する。

【0019】第2図に実施の形態で使用したMOCVD装置の概略図を示す。図中、201は(0001)面を有するサファイアまたはGaNの基板であり、炭素でできたサセプタ(202)上に配置されている。サセプタの内部には、やはり炭素でできた抵抗加熱用のヒーターが配置されており、熱電対によって基板温度を監視、制御することができる。203は二重の石英でできた反応管であり、水冷されている。V族原料としてアンモニア(206)を使用し、III族原料としてトリメチルガリウム(以下、TMG)、トリメチルアルミニウム(以下、TMA)、トリメチルインジウム(以下、TMI)(207a~207c)を窒素ガスまたは水素ガスでバブリングして使用した。また、n型のドーピング原料としてSiH₄(モノシラン)(209)を使用し、p型のドーピング原料としては、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp:Mg)(207d)を使用した。各原料はマスフローコントローラ(MFC)(208)で正確に流量を制御し、原料入り口(204)より反応管に導入され、排気ガス出口(205)より排出される。

【0020】以下、半導体レーザを構成する各層の結晶成長の手順を図1、図3および図4を用いて説明する。はじめに、図3を参照しながらレーザのクラッド層までの結晶成長手順を説明する。

【0021】まず、基板(301)を洗浄して、結晶成長装置内に設置する。基板は水素雰囲気中1100℃程度の温度で約10分間熱処理し、その後、500℃~600℃程度に降温する。温度が一定になれば、キャリアガスを窒素に替え、全流量を10l/min、アンモニアを3l/min流し、数秒後、TMGを約20μmol/min流して低温GaNからなるバッファ層(302)を1分間程度で約20nm成長した。このバッファ層(302)は、GaN基板を用いる場合、省略しても差し支えない。その後、TMGの供給を停止して1050℃まで昇温し、再びTMGを約50μmol/minとSiH₄ガスを約10nmol/min供給してn型

のGaN膜(303)を約4 μ m成長した。その後、一旦、成長膜を取り出して、スパッタ法あるいは蒸着法を用いてSiO₂の成長抑制膜(304)を約0.1 μ mの厚さに形成し、簡便なフォトリソグラフィを用いて5 μ m幅で10 μ m間隔のストライプ状にSiO₂膜をエッチングして下層のn型GaN膜を露出させる(305)。その後、再び結晶製造装置内に設置し窒素ガスで置換した後、窒素を10l/min、アンモニアを3l/min流しながら700℃まで昇温し、温度が安定した時点でTMGを約50 μ mol/min、SiH₄ガスを約10nmol/minおよびTMIを10 μ mol/min供給してn型In_{0.1}Ga_{0.9}N(306)を成長する。成長が進むにつれて、n型GaN露出部(305)から再成長を始めたIn_{0.1}Ga_{0.9}Nは、SiO₂によって被覆されている部分に横方向成長する。再成長したIn_{0.1}Ga_{0.9}Nが約0.2 μ m程度の厚みになると、被覆部に横方向成長した部分が完全に結合して膜表面が平坦になる(307)。InGaN再成長後、TMG、TMI及びSiH₄の供給を停止し、1050℃まで昇温し、窒素を10l/min、アンモニアを3l/min、TMGを約50 μ mol/min、SiH₄ガスを約10nmol/minおよびTMAを10 μ mol/min供給して光閉じ込め層となるn型Al_{0.15}Ga_{0.85}N(308)を成長する。

【0022】以上の工程を経て製造した膜の表面は、平坦でクラックも生じていない。透過電子顕微鏡による観察では、SiO₂膜上に被覆したIn_{0.1}Ga_{0.9}N中及びAl_{0.15}Ga_{0.85}N中では、基板とGaN膜との界面から発生する欠陥が殆ど観測できなかった。螺旋転移及び刃状転移は、SiO₂膜により被覆されていない部分(図3の305の上部)でSiO₂成長抑制膜上に折れ曲がり、お互い相殺しながら消滅していた。図4に転移の状態を模式的に示す。図中、401は基板、402は低温バッファ層、403はGaN膜、404はSiO₂成長抑制膜、405はIn_{0.1}Ga_{0.9}N膜、406はAl_{0.15}Ga_{0.85}N膜、407は基板界面から生じる転移である。図に示すように転移はそのほとんどが成長抑制膜に集中して消滅し、膜の表面まで到達してない。また、同様にして選択成長したGaN膜と比較すると、GaNの選択成長の場合に再成長膜同士の接合部分で多数観測される刃状転移が、In_{0.1}Ga_{0.9}N再成長膜の接合部分ではほとんど観測されなかった。これは、再成長を行う膜中にInが含まれることによって結晶の剛性が低下すると共に横方向への成長が容易になるため、In_{0.1}Ga_{0.9}Nの格子が歪むことによって転位の伝搬が阻止されると同時に、再成長膜同士が横方向に結合し易くなるためであると考えられる。成長抑制膜上に再成長するIn_{0.1}Ga_{0.9}NのIn組成は再成長層の結晶性が悪化しない程度に、例えばIn_{0.8}Ga_{0.2}Nのように高くして差し支えないが、再成長層上の各層の結晶性と成長抑

制膜を被覆する容易性を考慮してx=0.05から0.25の範囲が最も好ましい。一般的に0.05未満のIn組成では再成長層の剛性が高いため歪み難く転移を伝搬し易い。また、再成長層の横方向への結合もし難くなる。一方、0.25より高いIn組成では、再成長層中のInが凝集しやすく、組成が不均一な領域が生じやすくなる。このような領域が発生すると、以降の成長中にこの組成不均一部分が新たな転移の発生源になり、再成長層より上の各層の結晶性を逆に悪化させる場合がある。またInGaN再成長層が成長抑制膜を完全に被覆する膜厚は基本的に成長抑制膜の厚さと形状に依存しており、成長抑制膜を完全に被覆する厚さであればなんら問題ないが、通常、再成長層の平坦性と再成長層より上の各層の結晶性を考慮して、成長抑制膜の10倍程度の厚さにInGaNを再成長するのが好ましい。

【0023】次に、図1を参照して説明する。101はサファイア基板、102はバッファ層、103はn型GaN層、104は成長抑制膜、105はInGaN再成長層、106はn型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層、107はn型光伝搬層、108は多重量子井戸活性層、109はp型伝搬層、110はp型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層、111はp型コンタクト層、112はn型電極、113は絶縁膜、114はp型電極である。図中、107は厚さが約0.1 μ mのGaN光伝搬層であるが、この層は上述のn型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層106(図3の308相当する)に引き続いて、TMAの供給を停止し、連続して成長を行った。図1に示されているバッファ層102からn型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層106の窒素化合物半導体結晶成長は、図3を用いて説明した手順と全く同様の方法で実施することができる。

【0024】GaN光伝搬層107成長後、一旦TMGとSiH₄の供給を停止して基板の温度を700℃~800℃程度に下げ、TMIとTMGを供給して、厚さ2nmのIn_{0.15}Ga_{0.85}Nと厚さ4nmのIn_{0.02}Ga_{0.98}Nの複数層より構成される多重量子井戸活性層(108)を成長する。その際、SiH₄を供給してもよいし、供給しなくてもよい。つづいてTMGとTMIの供給を再度停止し、再び1050℃まで昇温した後、TMGとTMAの供給を行い、厚さ20nmのAl_{0.15}Ga_{0.85}Nよりなるキャリアブロック層を成長する。その際、Cp₂Mgを供給してもよいし、供給しなくてもよく、この層がなくても特に大きな支障は生じない。その後、TMAの供給を停止し、TMGを50 μ mol/min、Cp₂Mgを約50nmol/min供給して厚さ0.1 μ mのp型GaN光伝搬層(109)を成長する。更に、TMAを10 μ mol/min供給して厚さ0.5 μ mのp型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nよりなるクラッド層(110)を成長し、最後に、TMAの供給を停止して厚さ0.1 μ mのp型GaNよりなるコンタクト層(111)を成長した後、基板温度を室温まで降温し結

晶成長膜を成長装置より取り出す。その後、ドライエッチング装置を用いてn型Ga_{0.9}N膜を露出させ、AlとAu膜を露出部分に蒸着してn型電極(112)を形成する。また、p型部分には絶縁膜(SiO₂) (113)を蒸着してストライプ状にエッチングを行いp型Ga_{0.9}Nコンタクト層(111)を露出させ、NiとAu膜を蒸着してp型電極(114)を形成する。最後に劈開、あるいはドライエッチングを用いてミラーとなる端面を形成する。以上により窒素化合物半導体を用いた青紫色の発光波長をもつレーザが作製できる。

【0025】本方法で作製したレーザは、n型Ga_{0.9}N層とAlGa_{0.1}Nクラッド層の間に設けられた成長抑制膜の存在により、再成長後の各膜中の転移密度が2桁以上減少している。また、従来技術によりGa_{0.9}N膜中に成長抑制膜を形成して作製したレーザに比べると、成長抑制膜上を被覆した部分の転移密度及び被覆していない部分の転移密度が減少するばかりでなく、成長抑制膜上の再成長膜接合部分に集中して発生していた刃状転移がなくなっている。そのため、レーザを構成するガイド層以降の成長膜の転移密度が場所に依存することなく減少して、その結果、レーザ自体の寿命特性が10倍以上向上した。

【0026】本例では、低温バッファ層としてGa_{0.9}N膜を使用した場合について記述したが、Al_xGa_{1-x}N (0 ≤ x ≤ 1)を使用しても何ら問題がない。また、本例では再成長を行う窒素化合物半導体膜のIn組成が0.1の場合について記述したが、In組成が0 < x (In) ≤ 1の窒素化合物半導体でも同様の効果が見られ、更にIn組成が0.05 ≤ x (In) ≤ 0.25である窒素化合物半導体では特に顕著な効果が見られた。

【0027】成長抑制膜の形状を特に固定する必要はないが、ストライプ方向が窒素化合物半導体の<1-100>方向の場合に、より横方向成長が促進され好ましい。

【0028】ストライプ構造を形成する際、その間隔は50 μm以下、成長抑制膜の幅は20 μm以下が好ましいがこの限りではなく、更に好ましくは間隔が20 μm以下、成長抑制膜の幅が10 μm以下の場合に表面が平坦で欠陥密度も少なく良好な結果が得られた。これは、厚さ方向の成長速度と横方向の成長速度の比によってInGa_{0.9}N再成長層が成長抑制膜上に完全に覆う厚さが決まるためであり、間隔が20 μm以下、成長抑制膜の幅が10 μm以下の場合に結晶性を損ねない厚さで成長抑制膜を被い尽くすことができることに起因している。

(実施例1) 本実施例では成長抑制膜として絶縁物を使用してレーザを作製した例について記述する。

【0029】n型Ga_{0.9}N層成長後、成長装置より基板を取り出し、下層のGa_{0.9}Nに対して<1-100>方向に5 μmの間隔で幅2.5 μmのSiN膜をストライプ状に形成した後、結晶成長装置内に基板を戻し、厚さ約

0.2 μmのInGa_{0.9}Nを再成長した後、厚さ約0.4 μmのn型AlGa_{0.1}Nクラッド層を含む他の層を成長し、素子化プロセスを経て図1に示す構造を形成した。本構造では成長抑制膜が被覆されていない部分の上に、p型Ga_{0.9}Nコンタクト層に接するストライプ状に電極を形成した。

【0030】このようにして作製したレーザは、InGa_{0.9}N膜の選択再成長を行っていないレーザに比べて、寿命が10倍以上長かった。これは、活性層近傍の転移密度が低減したことによると考えられる。また、閾値電流密度が約1/2まで低減しており、これは、クラッド層内に電流狭搾構造を有するため、活性層近傍での電流の絞り込みが効率良く行えるためであると考えられる。

【0031】本実施例では、成長抑制膜が被覆されていない部分の上部に発光部を設けた例について記述した。絶縁性の成長抑制膜としては、SiN以外にSiO₂や金属の窒化物酸化物等、窒素化合物半導体が直接エピタキシャル成長しない絶縁膜であればその材料に大きく依存しない。

(実施例2) 本実施例では、成長抑制膜として金属を使用して、レーザを作製した例について記述する。

【0032】実施例1と同様に、n型Ga_{0.9}N層成長後、成長装置より基板を取り出し、下層のGa_{0.9}Nに対して<1-100>方向に5 μmの間隔で、幅2.5 μmのモリブデン(Mo)膜をストライプ状に形成した後、結晶成長装置内に基板を戻し、厚さ約0.2 μmのInGa_{0.9}Nを再成長した後、厚さ約0.4 μmのn型AlGa_{0.1}Nクラッド層を含む他の層を成長し、素子化プロセスを経て図1に示す構造を作製した。本構造では成長抑制膜が被覆されていない部分の上に、p型Ga_{0.9}Nコンタクト層に接するストライプ状に電極を形成した。

【0033】このようにして作製したレーザは、AlGa_{0.9}N膜の選択再成長を行っていないレーザに比べて、寿命が10倍以上長く、閾値電流密度が約1/2まで低減した。これは、活性層近傍の転移密度が低減したことと、n型AlGa_{0.1}Nクラッド層内に金属層を配置したことにより、光伝搬層の有効屈折率が変化し、横方向(基板と平行方向)の光閉じ込めが顕著になったためであると考えられる。なお、金属の成長抑制膜としては、Mo以外に、Pt、W、Ti、Ni、Al、Pd、Au等、窒素化合物半導体が直接エピタキシャル成長しない金属であれば、その材料に対して大きく依存しない。

(実施例3) 本実施例では、成長抑制膜として金属を使用し、その表面を窒化処理して絶縁性とした後、再成長しレーザを作製した例について記述する。

【0034】実施例1及び2と同様にn型Ga_{0.9}N層成長後、成長装置より基板を取り出し、下層のGa_{0.9}Nに対して<1-100>方向に、5 μmの間隔で、2.5 μmのチタン(Ti)膜をストライプ状に形成し、再び結晶成長装置内に基板を戻した後、アンモニア雰囲気中で一定

時間 T_i 表面を窒化処理して、 T_iN 膜を形成する。その後、再び、実施例 1 及び 2 と同様の方法で厚さ約 $0.2\mu m$ の $InGaN$ を再成長した後、厚さ約 $0.4\mu m$ の n 型 $AlGaIn$ クラッド層を含む他の層を成長し、素子化プロセスを経て図 1 に示す構造を作製した。本構造では成長抑制膜が被覆されていない部分の上に、 p 型 GaN コンタクト層に接するストライプ状に電極を形成した。

【0035】このようにして作製したレーザ素子の寿命は、 $InGaN$ 膜の選択再成長を行っていないレーザに比べて、10 倍以上長かった。これは、活性層近傍の転移密度が低減したことによると考えられる。また、閾値電流密度が約 $1/3$ に低減した。これは、 n 型 $AlGaIn$ クラッド層内に金属層を配置したことによって光伝搬層の有効屈折率が変化し、横方向（基板と平行方向）の光閉じ込めが顕著になったことと、金属表面が窒化処理されて絶縁物となり電流峡構造が形成されているためであると考えられる。なお、金属表面を窒化処理して形成する成長抑制膜としては、 Ti 以外に、 W 、 Mo 、 Ni 、 Al 等、窒素化合物半導体が直接エピタキシャル成長しない金属窒化物が形成されるものであれば問題なく使用することができる。

（実施例 4）本実施例では成長抑制膜として金属を使用しレーザを作製した他の例について図 5 を用いて記述する。

【0036】実施例 1 及び 2 と同様に基板 501 の上に、バッファ層 502 を成長し、さらに n 型の GaN 膜（503）を約 $4\mu m$ 成長後、 n 型の $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ （504）を $0.7\mu m$ 成長し、続いて GaN 光伝搬層（505）、 $InGaIn$ 活性層（506）、キャリアブロック層（507）、 p 型 GaN 光伝搬層（508）を形成する。更に $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ よりなる p 型 $AlGaIn$ クラッド層（509）を約 $0.15\mu m$ 成長した後、一旦窒素化合物半導体の成長を中止して基板を成長装置より取り出し、下層の $AlGaIn$ に対して $\langle 1-100 \rangle$ 方向に、 $5\mu m$ の間隔で、幅 $2.5\mu m$ のモリブデン (Mo) の成長抑制膜（510）をストライプ状に形成する。その後、結晶成長装置内に基板を戻し、厚さ約 $0.4\mu m$ の p 型 $InGaIn$ 再成長層（511）を再成長した後、 p 型 GaN コンタクト層（512）を成長して基板を結晶成長装置より取り出し、素子化プロセスを経て図 5 に示す構造を作製した。513 は n 型コンタクト電極、514 は絶縁膜、515 は p 型コンタクト電極である。本構造では成長抑制膜が被覆されていない部分の上に、 p 型 GaN コンタクト層に接するストライプ状に p 型コンタクト電極（515）を形成した。

【0037】このようにして作製したレーザ素子の寿命は、 $InGaIn$ 膜の選択成長を行っていないレーザに比べて、閾値電流密度が約 $1/2$ に低減した。これは、 p 型 $AlGaIn$ のクラッド層内に金属層と $InGaIn$ 層を

配置したことにより、光伝搬層の有効屈折率が変化し、横方向（基板と平行方向）の光閉じ込めが顕著になったためであると考えられる。

（実施例 5）本実施例では、アモルファスシリコン成長抑制膜を用いてレーザを作製した例について図 6 に基づいて記述する。実施例 1 及び 2 と同様に、基板（601）の上にバッファ層（602）、 n 型 GaN 層（603）を成長後、成長装置より基板を取り出し、下層の GaN に対して $\langle 1-100 \rangle$ 方向に $5\mu m$ の間隔で幅 $2.5\mu m$ のアモルファスシリコンの成長抑制膜（604）をストライプ状に形成する。その後、結晶成長装置内に基板を戻し、厚さ約 $0.2\mu m$ の $InGaIn$ 再成長層（605）を再成長した後、厚さ約 $0.4\mu m$ の n 型 $AlGaIn$ クラッド層（606）、 n 型 GaN 光伝搬層（607）、 $InGaIn$ 多重量子井戸活性層（608）、 p 型 GaN 光伝搬層（609）、 p 型 $AlGaIn$ クラッド層（610）、 p 型 GaN コンタクト層（611）、を成長し、素子化プロセスを経て、図 6 に示す構造を作製した。612 は n 型コンタクト電極、613 は絶縁膜、614 は p 型コンタクト電極である。本構造では成長抑制膜が被覆されている部分の上に、 p 型 GaN コンタクト層（611）に接するストライプ状に p 型コンタクト電極（614）を形成した。

【0038】このようにして作製したレーザ素子の寿命は、 $InGaIn$ 膜の選択再成長を行っていないレーザに比べて 10 倍以上長くなった。これは、活性層近傍の転移密度が低減したことによると考えられる。また、 $AlGaIn$ クラッド層をリークして基板とクラッド層の間で発生する縦方向（基板に対して垂直方向）の多重モードの伝搬光が、該成長抑制膜及び $InGaIn$ 再成長膜で吸収（あるいは活性層方向に反射）されるため、レーザ光は常に単一モードで発振した。

【0039】本実施例では、成長抑制膜が被覆している部分の上に発光部を設けた例について記述した。成長抑制膜の種類として、アモルファスシリコン以外に、窒素化合物半導体が直接エピタキシャル成長せず、レーザの発光波長を吸収あるいは反射する材料であれば、作製するレーザの特性は大きく依存しない。

（実施例 6）本実施例では、成長抑制膜による被覆と選択成長を複数回行った例について記述する。

【0040】図 7 に示す素子は、基板（701）、バッファ層（702）、 n 型 GaN 層（703）を成長後に成長抑制膜（704）を形成し、続いて n 型の $InGaIn$ 再成長層（705）を選択成長し、 n 型 $AlGaIn$ クラッド層（706）の成長を行って、 n 型 GaN 光伝搬層（707）、 $InGaIn$ 多重量子井戸活性層（708）、 p 型 GaN 光伝搬層（709）、 p 型 $AlGaIn$ クラッド層（710）を成長し、再度成長抑制膜（704）を形成し、 p 型の $InGaIn$ 層（705）を再成長して、 p 型コンタクト層（711）を成長して、エッチ

ング及び電極形成等のプロセスを経てレーザを作製したものである。なお、712はn型コンタクト電極、713は絶縁膜、714はp型コンタクト電極である。

【0041】図7に示す構造を採用することによって、n型クラッド層に成長抑制膜を導入した効果に加えてp型クラッド層に成長抑制膜を導入した効果が現われる。すなわち、n型層あるいはp型層の成長抑制膜の一方を金属、もう一方を絶縁物にすることで、転移の低減に加えて電流狭窄と縦横両方向への光閉じ込めの効果が同時に得られる。

【0042】また、図8に示す素子は、基板(801)、バッファ層(802)、n型Ga_{0.4}N層(803)を成長後に成長抑制膜(804a)を形成し、続いてn型InGa_{0.4}N再成長層(805)を選択成長し、n型AlGa_{0.4}Nクラッド層(806)の成長を行って、n型Ga_{0.4}N光伝搬層(807)、InGa_{0.4}N多重量子井戸活性層(808)、p型Ga_{0.4}N光伝搬層(809)、p型AlGa_{0.4}Nクラッド層(810)を成長し、再度成長抑制膜(804b)を形成し、p型InGa_{0.4}N層(811)を再成長して、p型コンタクト層812を成長して、エッチング及び電極形成等のプロセスを経てレーザを作製したものである。なお、813はn型コンタクト電極、814は絶縁膜、815はp型コンタクト電極である。

【0043】図8の構造では、転移の低減に加えてn型クラッド下部の成長抑制膜(804a)を金属、あるいは活性層から出るレーザ光を吸収または反射する材料とすることで多重モードを抑制し、p型クラッド層内の成長抑制膜(804b)を金属あるいは絶縁物にすることで、縦横両方向への光の閉じ込めを強くするか、あるいは電流狭窄の効果をj得ることができる。

【0044】更に図9の構造では、901は基板、902はバッファ層、903はn型Ga_{0.4}N層、904a、bは成長抑制膜、905はn型InGa_{0.4}N再成長層、906はn型AlGa_{0.4}Nクラッド層、907はn型Ga_{0.4}N光伝搬層、908はInGa_{0.4}N多重量子井戸活性層、909はp型Ga_{0.4}N光伝搬層、910はp型AlGa_{0.4}Nクラッド層、911はp型Ga_{0.4}Nコンタクト層、912はn型コンタクト電極、913は絶縁膜、914はp型コンタクト電極である。

【0045】n型クラッド層内に2層の成長抑制膜(904aと904b)を導入することで、転移密度が一層低減され、図8に示した構造のレーザ素子と同等の効果をj得ることができる。

【0046】以上は、全てレーザ作製に関する実施例である。前記実施例では、専らMOCVD法にて窒素化合物半導体結晶を成長しているが、MOCVD法に止まらず、MBE法、HVPE法等一般に半導体結晶成長に用いられる手法を問題無く適用することができる。また、MOCVD法の場合、Ga_{0.4}N膜の選択成長を減圧下で行う場合が多いが、InGa_{0.4}N膜は選択性が高く横方向成

長が容易であり、選択成長による表面の平坦性および結晶欠陥の低減が容易である。そのため、減圧、常圧を問わず成長可能である。また、結晶欠陥を考慮すると、本発明は、レーザに限らず、発光ダイオード(LED)や受光素子、パワーデバイス等窒素化合物半導体から作製される素子全般に対して有効である。

(実施例7) 本実施例では、Ga_{0.4}N基板を用いて、成長抑制膜として絶縁物を使用してレーザを作製した例について記述する。図10において、1001はGa_{0.4}N基板、1002はバッファ層、1003はn型Ga_{0.4}N層、1004は成長抑制膜、1005はInGa_{0.4}N再成長層、1006はn型AlGa_{0.4}Nクラッド層、1007はn型Ga_{0.4}N光伝搬層、1008はInGa_{0.4}N多重量子井戸活性層、1009はp型Ga_{0.4}N光伝搬層、1010はp型AlGa_{0.4}Nクラッド層、1011はp型Ga_{0.4}Nコンタクト層、1012はn型コンタクト電極、1013は絶縁膜、1014はp型コンタクト電極である。

【0047】Ga_{0.4}N基板の上にn型Ga_{0.4}N層成長後、成長装置より基板を取り出し、下層のGa_{0.4}Nに対して<1100>方向に5μmの間隔で幅2.5μmのSi_{0.4}N膜の成長抑制膜(1004)をストライプ状に形成した後、結晶成長装置内に基板を戻し、厚さ約0.2μmのInGa_{0.4}N(1005)を再成長した後、厚さ約0.4μmのn型AlGa_{0.4}Nクラッド層(1006)を含む他の層を成長し、素子化プロセスを経て図10に示す構造を形成した。本構造では成長抑制膜が被覆されていない部分の上に、p型Ga_{0.4}Nコンタクト層(1011)に接するストライプ状に電極(1014)を形成した。なお、図10中のバッファ層(1001)は省略しても差し支えない。

【0048】このようにして作製したレーザは、InGa_{0.4}N膜の選択再成長を行っていないレーザに比べて、寿命が20倍以上長かった。これは、活性層近傍の転移密度が低減したことによると考えられる。また、閾値電流密度が約1/4まで低減しており、これは、クラッド層内に電流狭窄構造を有するため、活性層近傍での電流の絞り込みが効率良く行えるためであると考えられる。

【0049】本実施例では、成長抑制膜が被覆していない部分の上部に発光部を設けた例について記述した。絶縁性の成長抑制膜としては、Si_{0.4}N以外にSi_{0.4}O₂や金属の窒化物酸化物等、窒素化合物半導体が直接エピタキシャル成長しない絶縁膜であればその材料に大きく依存しない。また、本実施例と同様の方法でp型Ga_{0.4}N基板上にレーザ素子を作製することも可能であり、n型Ga_{0.4}N基板上と同様に特性が大幅に改善される。

(実施例8) 本実施例では、Ga_{0.4}N基板を用いて、成長抑制膜として金属を使用して、レーザを作製した例について記述する。

【0050】実施例7と同様に、Ga_{0.4}N基板の上にn型Ga_{0.4}N層(1003)を成長後、成長装置より基板を取り

出し、下層のGaNに対して<1-100>方向に5 μ mの間隔で、幅2.5 μ mのモリブデン(Mo)膜(1004)をストライプ状に形成した後、結晶成長装置内に基板を戻し、厚さ約0.2 μ mのInGaN1005を再成長した後、厚さ約0.4 μ mのn型AlGaNクラッド層(1010)を含む他の層を成長し、素子化プロセスを経て図10に示す構造を作製した。本構造では成長抑制膜が被覆していない部分の上に、p型GaNコンタクト層(1011)に接するストライプ状に電極(1014)を形成した。なお、図10中のバッファ層(1002)は省略しても差し支えない。

【0051】このようにして作製したレーザは、InGaN膜の選択再成長を行っていないレーザに比べて、寿命が10倍以上長かった。これは、活性層近傍の転移密度が低減したことによると考えられる。また、閾値電流密度が約1/4まで低減した。これは、n型AlGaNクラッド層内に金属層を配置したことにより、光伝搬層の有効屈折率が増加し、横方向(基板と平行方向)の光閉じ込めが顕著になったためであると考えられる。なお、金属の成長抑制膜としては、Mo以外に、Pt、W、Ti、Ni、Al、Pd、Au等、窒素化合物半導体が直接エピタキシャル成長しない金属であれば、その材料に対して大きく依存しない。また、本実施例と同様の方法でp型GaN基板上にレーザ素子を作製することも可能であり、n型GaN基板上と同様に特性が大幅に改善される。

(実施例9)本実施例では、GaN基板を用いて、成長抑制膜として金属を使用し、その表面を窒素処理して絶縁性とした後、再成長しレーザを作製した例について記述する。

【0052】実施例7及び8と同様にGaN基板(1001)上にn型GaN層(1003)成長後、成長装置より基板を取り出し、下層のGaNに対して<1-100>方向に、5 μ mの間隔で、2.5 μ mのチタン(Ti)膜(1004)をストライプ状に形成し、再び結晶成長装置内に基板を戻した後、アンモニア雰囲気中で一定時間Ti表面を窒素処理して、TiN膜を形成する。その後、再び、実施例7及び8と同様の方法で厚さ約0.2 μ mのInGaN(1005)を再成長した後、厚さ約0.4 μ mのn型AlGaNクラッド層(1006)を含む他の層を成長し、素子化プロセスを経て図10に示す構造を作製した。本構造では成長抑制膜が被覆していない部分の上に、p型GaNコンタクト層(1011)に接するストライプ状に電極を形成した。なお、図10中のバッファ層(1002)は省略しても差し支えない。

【0053】このようにして作製したレーザ素子の寿命は、InGaN膜の選択再成長を行っていないレーザに比べて、20倍以上長かった。これは、活性層近傍の転移密度が低減したことによると考えられる。また、閾値

電流密度が約1/6に低減した。これは、n型AlGaNクラッド層内に金属層を配置したことによって光伝搬層の有効屈折率が増加し、横方向(基板と平行方向)の光閉じ込めが顕著になったことと、金属表面が窒素処理されて絶縁物となり電流峽構造が形成されているためであると考えられる。なお、金属表面を窒素処理して形成する成長抑制膜としては、Ti以外に、W、Mo、Ni、Al等、窒素化合物半導体が直接エピタキシャル成長しない金属窒化物が形成されるものであれば問題なく使用することができる。また、本実施例と同様の方法でp型GaN基板上にレーザ素子を作製することも可能であり、n型GaN基板上と同様に特性が大幅に改善される。

(実施例10)本実施例では、GaN基板を用いて、成長抑制膜として金属を使用し、その成長抑制膜が平坦に被覆されない状態で再成長した後、レーザを作製した例について図16を参照して記述する。図16に示すように、本実施例の素子構造は下層n型GaN層1603上に形成された金属性の成長抑制膜1604が、再成長n型InGaN層1605で平坦に被覆されていない点を除いて実施例8および実施例9と同じである。

【0054】図16に示すレーザ素子は、GaN基板1601、バッファ層1602、n型GaN層1603、成長抑制膜1604、InGaN再成長層1605、n型AlGaNクラッド層1606、n型GaN光伝搬層1607、InGaN多重量子井戸活性層1608、p型GaN光伝搬層1609、p型AlGaNクラッド層1610、p型GaNコンタクト層1611、n型コンタクト電極1612、p型電極絶縁膜1613、p型コンタクト電極1614から構成される。n型AlGaNクラッド層1606下に設けられた金属成長抑制膜1604は、レーザ素子における水平横モードの光閉じ込め効果を得るために、前述の実施例8および実施例9に則して導入したものである。しかしながら、素子特性を詳細に検討した結果、水平横モードの光閉じ込め効果に加えて以下の効果を有することがわかった。

【0055】図16のように、活性層1608の下方に設けられた、少なくとも2つの金属性の成長抑制膜1604の間隙であるS部の上方に位置するように、p型電極1614の電流注入間隙(幅Wp)が設けられ、且つ、再成長n型InGaN膜1605は、前記金属性の成長抑制膜を平坦に被覆せず、窪みを有するとき、<効果1>前記窪みを有することによって、活性層1608は、多重量子井戸構造から、p型電極1614のストライプ方向に対して垂直方向の量子細線構造に近くなり、閾値電流密度をより一層低減することが可能となる。<効果2>前記窪みを有することによって、再成長n型InGaN層1605よりも上方に形成された窒化物半導体層の結晶歪を緩和することができ、結晶性を低下させず、素子寿命をより一層長くすることができる。<効果

3>前記窪みを有することによって、p型電極1614から注入された電流の横方向への広がりを防止でき、閾値電流密度を低くすることが可能となる。

【0056】図16の模式図は、説明のため、窪みの側壁に積層された窒化物半導体層を誇張して表示しているが、実際には、各層厚が薄いため、必ずしも図16に示されるように窪み内部の大半が窒化物半導体層で埋められるとは限らない。前述した効果1から3は、窪みが深ければ深いほどより顕著に発揮される。

【0057】本実施例に示した金属性成長抑制膜1604は、窒化等の処理を施し、絶縁性膜付き成長抑制膜に置き換えてもよいし、Si、Si₃N₄等、アモルファス成長抑制膜に置き換えてもなんら差し支えない。成長抑制膜を置き換えたことによる効果は前述の実施例と同様である。また、本実施例では、GaN基板を用いたが、その他の任意の組成を有する窒化物半導体(AlGaInN)基板を用いてもよいし、窒化物半導体基板以外の基板、例えばサファイア基板等、窒化物半導体結晶がエピタキシャル成長可能な異種基板を用いても構わない。

【0058】本実施例では、GaN基板の裏面側からn型電極1612を形成したが、図1のようにp型電極と同じ面側からn電極を形成しても構わない。

【0059】本実施例で示された窪みの形状はV字型であったが、その他の形状、例えば、矩形形状あるいは順メサ、逆メサ形状であっても差し支えない。

(実施例11) 本実施例では、GaN基板を用いて、成長抑制膜として金属を使用しレーザを作製した他の例について記述する。

【0060】実施例7及び8と同様にGaN基板上(1101)にバッファ層(1102)、n型のGaN膜(1103)を約4μm成長後、n型のAl_{0.15}Ga_{0.85}N(1104)を0.7μm成長し、続いてGaN光伝搬層(1105)、InGa_N多重量子井戸活性層(1106)、キャリアブロック層(1107)、p型GaN光伝搬層(1108)を形成する。更にAl_{0.15}Ga_{0.85}Nよりなるp型クラッド層(1109)を約0.15μm成長した後、一旦窒素化合物半導体の成長を中止して基板を成長装置より取り出し、下層のAlGa_Nに対して<1-100>方向に、5μmの間隔で、幅2.5μmのモリブデン(Mo)の成長抑制膜(1110)をストライプ状に形成する。その後、結晶成長装置内に基板を戻し、厚さ約0.4μmのInGa_N再成長層(1111)を再成長した後、p型GaNコンタクト層(1112)を成長して基板を結晶成長装置より取り出し、素子化プロセスを経て図11に示す構造を作製した。本構造では成長抑制膜が被覆していない部分の上に、p型GaNコンタクト層(1112)に接するストライプ状に絶縁膜(1114)を形成し、開口部に電極(1115)を形成した。n型電極(1113)はGaN基板裏面に形成した。なお、図11中のバッファ層1

102は省略しても差し支えない。

【0061】このようにして作製したレーザ素子の寿命は、InGa_N膜の選択成長を行っていないレーザに比べて、閾値電流密度が約1/4に低減した。これは、p型AlGa_Nのクラッド層内に金属層とInGa_N層を配置したことにより、光伝搬層の有効屈折率が変化し、横方向(基板と平行方向)の光閉じ込めが顕著になったためであると考えられる。また、本実施例と同様の方法でp型GaN基板上にレーザ素子を作製することも可能であり、n型GaN基板上と同様に特性が大幅に改善される。

(実施例12) 本実施例では、GaN基板を用いて、成長抑制膜として金属を使用し、その成長抑制膜が平坦に被服されない状態で再成長した後、レーザを作製した他の例について図17を参照して説明する。本実施例の素子構造はp型AlGa_N層1709上に形成された金属性の成長抑制膜1710が、再成長p型InGa_N層1711で平坦に被覆されていない点を除いて実施例11と同じである。

【0062】図17に示すレーザ素子は、GaN基板1701、バッファ層1702、n型GaN層1703、n型AlGa_Nクラッド層1704、n型GaN光伝搬層1705、InGa_N多重量子井戸活性層1706、キャリアブロック層1707、p型GaN光伝搬層1708、p型AlGa_Nクラッド層1709、成長抑制膜1710、InGa_N再成長層1711、p型GaNコンタクト層1712、n型コンタクト電極1713、p型電極絶縁膜1714、p型コンタクト電極1715から構成される。p型AlGa_Nクラッド層1709上に設けられた金属性成長抑制膜1710は、レーザ素子における水平横モードの光閉じ込め効果を得るために、実施例11に則して導入したが、素子特性を詳細に検討した結果、水平横モードの光閉じ込め効果に加えて以下の効果を有することがわかった。

【0063】図17のように、活性層1706の上方に設けられた少なくとも2つの金属性膜成長抑制膜1710の間隙であるS部の上方に位置するように、p型電極1715の電流注入間隙(幅Wp)が設けられ、且つ、前記金属性成長抑制膜を再成長p型InGa_N膜1711で平坦に被覆せず、窪みを有するとき、

<効果>窪みを有することによって再成長p型InGa_N膜1711よりも上方に形成された窒化物半導体層の結晶歪を緩和することができ、結晶性を低下させず、素子寿命をより一層長くすることができる。

【0064】図17の模式図は、説明のため、窪みの側壁に積層された窒化物半導体層を誇張して表示しているが、実際には、各層厚が薄いため、必ずしも図17に示されるように窪み内部の大半が窒化物半導体層で埋められるとは限らない。前述した効果は、窪みが深ければ深いほどより顕著に発揮される。

【0065】本実施例で示した金属性成長抑制膜1710は、窒化等の処理を施し、絶縁性膜付き成長抑制膜に置き換えてもよいし、Si、Si₃N₄等、アモルファス成長抑制膜に置き換えてもなら差し支えない。成長抑制膜を置き換えたことによる効果は前述の実施例と同様である。また、本実施例では、GaN基板を用いたが、その他の任意の組成を有する窒化物半導体（AlGaInN）基板を用いてもよいし、窒化物半導体基板以外の基板、例えばサファイア基板等、窒化物半導体結晶がエピタキシャル成長可能な異種基板を用いても構わない。

【0066】本実施例では、GaN基板の裏面側からn型電極1713を形成したが、図1のようにp型電極と同じ面側からn電極を形成しても構わない。

【0067】本実施例で示された窪みの形状はV字型であったが、その他の形状、例えば、矩形形状あるいは順メサ、逆メサ形状であっても差し支えない。

（実施例13）本実施例では、アモルファスシリコン成長抑制膜を用いてレーザを作製した例を図12に基づいて記述する。図12において、1201はGaN基板、1202はパッファ層、1203はn型GaN層、1204は成長抑制膜、1205はInGaN再成長層、1206はn型AlGaNクラッド層、1207はn型GaN光伝搬層、1208はInGaN多重量子井戸活性層、1209はp型GaN光伝搬層、1210はp型AlGaNクラッド層、1211はp型GaNコンタクト層、1212はn型コンタクト電極、1213は絶縁膜、1214はp型コンタクト電極である。実施例7及び8と同様に、GaN基板（1201）上にn型GaN層（1203）成長後、成長装置より基板を取り出し、下層のGaNに対して<1-100>方向に5μmの間隔で幅2.5μmのアモルファスシリコン膜の成長抑制膜（1204）をストライプ状に形成する。その後、結晶成長装置内に基板を戻し、厚さ約0.2μmのInGaN層（1205）を再成長した後、厚さ約0.4μmのn型AlGaNクラッド層（1206）を含む他の層を成長し、素子化プロセスを経て、図12に示す構造を作製した。本構造では成長抑制膜が被覆している部分の上に、p型GaNコンタクト層（1211）に接するストライプ状に絶縁膜（1213）を形成し、開口部にp型電極（1214）を形成した。なお、図12中のパッファ層1202は省略しても差し支えない。

【0068】このようにして作製したレーザ素子の寿命は、InGaN膜の選択再成長を行っていないレーザに比べて20倍以上長くなった。これは、活性層近傍の転移密度が低減したことによると考えられる。また、AlGaNクラッド層をリークして基板とクラッド層の間で発生する縦方向（基板に対して垂直方向）の多重モードの伝搬光が、該成長抑制膜及びInGaN再成長膜で吸収（あるいは活性層方向に反射）されるため、レーザ光は常に単一モードで発振した。

【0069】本実施例では、成長抑制膜が被覆している部分の上に発光部を設けた例について記述した。成長抑制膜の種類として、アモルファスシリコン以外に、窒素化合物半導体が直接エピタキシャル成長せず、レーザの発光波長を吸収あるいは反射する材料であれば、作製するレーザの特性は大きく依存しない。また、本実施例と同様の方法でp型GaN基板上にレーザ素子を作製することも可能であり、n型GaN基板上と同様に特性が大幅に改善される。

（実施例14）本実施例では、アモルファスシリコン成長抑制膜を用いてレーザを作製した他の例について図18を参照して説明する。本実施例の素子構造はn型GaN層1803上に形成されたアモルファスSiの成長抑制膜1804が、再成長n型InGaN層1805で平坦に被覆されていない点および、リッジ構造である点を除いて実施例13と同じである。

【0070】図18に示すレーザ素子は、GaN基板1801、パッファ層1802、n型GaN層1803、成長抑制膜1804、InGaN再成長層1805、n型AlGaNクラッド層1806、n型GaN光伝搬層1807、InGaN多重量子井戸活性層1808、p型GaN光伝搬層1809、p型AlGaNクラッド層1810、p型GaNコンタクト層1811、n型コンタクト電極1812、p型電極絶縁膜1813、p型コンタクト電極1814から構成される。n型AlGaNクラッド層1806下に設けられたアモルファスシリコンの成長抑制膜1804は、レーザ素子における水平横モードの光閉じ込め効果を得るために、前述の実施例13に則して導入したものである。しかしながら、素子特性を詳細に検討した結果、単峰垂直横モード以外への効果を有することがわかった。

【0071】図18のように、InGaN多重量子井戸活性層1808より下方に設けられた成長抑制膜1804が、再成長n型InGaN層1805で平坦に被覆されない窪みを有し、再成長n型InGaN層1805で平坦に被覆された領域M1または領域M2のうち少なくとも何れか1つの領域の上方に、p型リッジストライプ構造の電流注入のための間隙Wpが設けられるとき、<効果>窪みを有することによって再成長n型InGaN膜1805よりも上方に形成された窒化物半導体層の結晶歪を緩和することができ、結晶性を低下させず、素子寿命をより一層長くすることができる。

【0072】図18の模式図は、説明のため、窪みの側壁に積層された窒化物半導体層を誇張して表示しているが、実際には、各層厚が薄いため、必ずしも図18に示されるように窪み内部の大半が窒化物半導体層で埋められるとは限らない。前述した効果は、窪みが深ければ深いほどより顕著に発揮される。

【0073】また、成長抑制膜（1804）を分割する領域M1およびM2の比は任意に取ることができる。図

18においては、成長抑制膜は1つしか図示されていないが、実際に作製する際には、1つのウェハに複数の素子が並んだ状態で作製される。この時、成長抑制膜の間隔を等しくすると、M1とM2の比は1:1になり、間隔を変化させることによって、M1とM2の比を任意とすることができる。

【0074】本実施例で示した成長抑制膜1804は、金属に置き換えてもよいし、金属表面に窒化等の処理を施した絶縁性膜付き成長抑制膜に置き換えてもなんら差し支えない。成長抑制膜を置き換えたことによる効果は前述の実施例と同様である。また、本実施例では、Ga

N基板を用いたが、その他の任意の組成を有する窒化物半導体(AlGaInN)基板を用いてもよいし、窒化物半導体基板以外の基板、例えばサファイア基板等、窒化物半導体結晶がエピタキシャル成長可能な異種基板を用いても構わない。

【0075】本実施例では、Ga

N基板の裏面側からn型電極1812を形成したが、図1のようにp型電極と同じ面側からn電極を形成しても構わない。

【0076】本実施例で示された窪みの形状はV字型であつたが、その他の形状、例えば、矩形形状あるいは順メサ、逆メサ形状であっても差し支えない。

(実施例15)本実施例では、Ga

N基板を用いて、成長抑制膜による被覆と選択成長を複数回行った例について図13、図14を用いて記述する。図13において、1301はGa

N基板、1302はバッファ層、1303はn型Ga

N層、1304は長抑制膜、1305はp型及びn型InGa

N再成長層、1306はn型AlGa

Nクラッド層、1307はn型Ga

N光伝搬層、1308はInGa

N多重量子井戸活性層、1309はp型Ga

N光伝搬層、1310はp型AlGa

Nクラッド層、1311はp型Ga

Nコンタクト層、1312はn型コンタクト電極、1313は絶縁膜、1314はp型コンタクト電極である。また、図14においては、1401はGa

N基板、1402はバッファ層、1403はn型Ga

N層、1404a、bは成長抑制膜、1405はn型InGa

N再成長層、1406は型AlGa

Nクラッド層、1407はn型Ga

N光伝搬層、1408はInGa

N多重量子井戸活性層、1409はp型Ga

N光伝搬層、1410はp型AlGa

Nクラッド層、1411はp型InGa

N再成長層、1412はp型Ga

Nコンタクト層、1413はn型コンタクト電極、1414は絶縁膜、1415はp型コンタクト電極である。

【0077】図13及び図14は、Ga

N基板(1401)上にn型Ga

N層(1403)成を長後に成長抑制膜(1404a)形成し、続いてInGa

N再成長層(1405)、AlGa

Nクラッド層(1406)の成長を行って、n型Ga

N光伝搬層(1407)、活性層(1408)、p型Ga

N光伝搬層(1409)、p型AlGa

Nクラッド層(1410)を成長し、再度成長

抑制膜(1404b)を形成し、p型InGa

N(1411)を再成長して、さらにp型コンタクト層(1414)を成長して、エッチング及び電極形成等のプロセスを経てレーザを作製したものである。なお、図13中および図14中のバッファ層1302および1402は省略しても差し支えない。

【0078】図13に示す構造を採用することによって、n型クラッド層に成長抑制膜を導入した効果に加えてp型クラッド層に成長抑制膜を導入した効果が現われる。すなわち、n型層あるいはp型層の成長抑制膜の一方を金属、もう一方を絶縁物にすることで、転移の低減に加えて電流狭窄と光閉じ込めの両効果が得られる。

【0079】図14の構造では、転移の低減に加えてn型クラッド下部の成長抑制膜(1404a)を金属、あるいは活性層から出るレーザ光を吸収または反射する材料とすることで多重モードを抑制しつつp型クラッド層上の成長抑制膜(1404b)を金属あるいは絶縁物にすることで、光の閉じ込めを強くするか、あるいは電流狭窄の効果を得ることができる。

【0080】更に図15に示すように、n型クラッド層内に2層の成長抑制膜(1504aと1504b)を導入することで、転移密度が一層低減され、図14に示した構造のレーザ素子と同等の効果を得ることができる。なお、図15において、1501はGa

N基板、1502はバッファ層、1503はn型Ga

N層、1504aおよび1504bは成長抑制膜、1505はInGa

N再成長層、1506はAlGa

Nクラッド層、1507および1509はそれぞれn型およびp型の光ガイド層、1508は多重量子井戸活性層、1510はp型AlGa

Nクラッド層、1511はp型コンタクト層、1513は絶縁膜、1512および1514はそれぞれn型およびp型の電極である。ここで、バッファ層1501は省略しても差し支えない。また、本実施例と同様の方法でp型Ga

N基板上にレーザ素子を作製することも可能であり、n型Ga

N基板上と同様に特性が大幅に改善される。

【0081】以上は、全てレーザ作製に関する実施例である。前記実施例では、専らMOCVD法にて窒素化合物半導体結晶を成長しているが、MOCVD法に止まらず、MBE法、HVPE法等一般に半導体結晶成長に用いられる手法を問題無く適用することができる。また、MOCVD法の場合、Ga

N膜の選択成長を減圧下で行う場合が多いが、InGa

N膜は選択性が高く横方向成長が容易であり、選択成長による表面の平坦性および結晶欠陥の低減が容易である。そのため、減圧、常圧を問わず成長可能である。また、結晶欠陥を考慮すると、本発明は、レーザに限らず、発光ダイオード(LED)や受光素子、パワーデバイス等窒素化合物半導体から作製される素子全般に対して有効である。

(実施例16)本実施例では、本発明による金属性成長

抑制膜または絶縁性膜付き金属性成長抑制膜と窒化物半導体基板の一例である GaN 基板を組み合わせた効果について説明する。

【0082】発明者らが詳細な検討を加えた結果、前記金属性成長抑制膜を窒化物半導体層（以下、下地層と呼ぶ）上に形成すると、当該成長抑制膜を構成している金属が下地層中に内部拡散を起こすことが確認できた。このような金属の内部拡散は、結晶性を低下させ、歩留まりの低下を招くものである。しかし、蒸着により成長抑制膜を形成する際の蒸着温度や、後の行程で被覆させる窒化物半導体膜の成長温度を制御することによって、内部拡散をある程度抑制できる。また、この手法に加えて、窒化物半導体基板の一例である GaN を基板に用いて、より一層効果的に内部拡散を抑制することが可能となり歩留まりを向上させることができる。

【0083】発明者らの実験結果によると、成長抑制膜を構成する金属原子は貫通転位を介するスパイク拡散によって下地層に達している事が確認された。一方、GaN 基板上に成長した窒化物半導体膜中の貫通転位密度は、窒化物半導体基板以外から構成される異種基板（例えばサファイア基板）上に成長したそれと比べて低い。従って、GaN 基板を用いることによって貫通転位を減少させ、より効果的に内部拡散を抑制することが可能となる。

【0084】本実施例では、GaN 基板について説明したが、その他の任意の組成を有する窒化物半導体（AlGaInN）基板を用いてもよい。

【0085】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によれば窒素化合物半導体製造後に、窒素化合物半導体が直接成長しない成長抑制膜を形成し、その後、選択成長によって In を含む窒素化合物半導体を再成長することで転移を低減させ、表面平坦性に優れる膜を作製できる。

【0086】更に本発明をレーザ等の発光素子に適用すると、光伝搬層に近いクラッド層内に成長抑制膜を設置できるため、光伝搬層の有効屈折率を変え、横方向（基板に水平方向）の光の閉じ込めを強くすることによって閾値電流密度を低減できる。また、絶縁性の成長抑制膜を使用することで、電流狭窄構造を形成することができ、レーザ光を吸収あるいは反射する成長抑制膜を使用すると、クラッド層をリークして発生する多重モードを抑制することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本実施例で説明したレーザ構造の一例である。

【図 2】本実施例で使用した結晶成長装置の概略図である。

【図 3】本実施例で説明した選択成長の一例である。

【図 4】成長抑制膜近傍の転移の様子を表した模式図である。

【図 5】本実施例で説明したレーザ構造の一例である。

【図 6】本実施例で説明したレーザ構造の一例である。

【図 7】本実施例で説明したレーザ構造の一例である。

【図 8】本実施例で説明したレーザ構造の一例である。

【図 9】本実施例で説明したレーザ構造の一例である。

【図 10】本実施例で説明したレーザ構造の一例である。

【図 11】本実施例で説明したレーザ構造の一例である。

【図 12】本実施例で説明したレーザ構造の一例である。

【図 13】本実施例で説明したレーザ構造の一例である。

【図 14】本実施例で説明したレーザ構造の一例である。

【図 15】本実施例で説明したレーザ構造の一例である。

【図 16】本実施例で説明したレーザ構造の一例である。

【図 17】本実施例で説明したレーザ構造の一例である。

【図 18】本実施例で説明したレーザ構造の一例である。

【符号の説明】

101…サファイア基板

102…バッファ層

103…n 型 GaN 層

104…成長抑制膜

105…InGaIn 再成長層

106…n 型 AlGaIn クラッド層

107…n 型光伝搬層

108…多重量子井戸活性層

109…p 型光伝搬層

110…p 型 AlGaIn クラッド層

111…p 型コンタクト層

112…n 型電極

113…絶縁膜

114…p 型電極

301…基板

302…バッファ層

303…n 型 GaN 層

304…成長抑制膜

305…n 型 GaN 層表面の露出部

306…InGaIn 再成長層

307…成長抑制膜上を完全に被服した InGaIn 再成長層

308…n 型 AlGaIn クラッド層

401…基板

402…低温バッファ層

403…GaN 膜

404…SiO₂ 成長抑制膜

405...In_{0.1}Ga_{0.9}N膜
 406...Al_{0.15}Ga_{0.85}N膜
 407...基板界面から生じる転移
 501...基板
 502...バッファ層
 503...n型Ga_{0.9}N膜
 504...n型のAl_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層
 505...n型Ga_{0.9}N光伝搬層
 506...InGa_{0.9}N活性層
 507...キャリアブロック層
 508...p型Ga_{0.9}N光伝搬層
 509...p型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層
 510...成長抑制膜
 511...p型InGa_{0.9}N再成長層
 512...p型Ga_{0.9}Nコンタクト層
 513...n型コンタクト電極
 514...絶縁膜
 515...p型コンタクト電極
 601...基板
 602...バッファ層
 603...n型Ga_{0.9}N層
 604...成長抑制膜
 605...InGa_{0.9}N再成長層
 606...n型AlGa_{0.9}Nクラッド層
 607...n型Ga_{0.9}N光伝搬層
 608...InGa_{0.9}N多重量子井戸活性層
 609...p型Ga_{0.9}N光伝搬層
 610...p型AlGa_{0.9}Nクラッド層
 611...p型Ga_{0.9}Nコンタクト層
 612...n型コンタクト電極
 613...絶縁膜
 614...p型コンタクト電極
 701...基板
 702...バッファ層
 703...n型Ga_{0.9}N層
 704...成長抑制膜
 705...InGa_{0.9}N再成長層
 706...n型AlGa_{0.9}Nクラッド層
 707...n型Ga_{0.9}N光伝搬層
 708...InGa_{0.9}N多重量子井戸活性層
 709...p型Ga_{0.9}N光伝搬層
 710...p型AlGa_{0.9}Nクラッド層
 711...p型コンタクト層
 712...n型コンタクト電極
 713...絶縁膜
 714...p型コンタクト電極
 801...基板
 802...バッファ層
 803...n型Ga_{0.9}N層
 804a...成長抑制膜

804b...成長抑制膜
 805...n型InGa_{0.9}N再成長層
 806...n型AlGa_{0.9}Nクラッド層
 807...n型Ga_{0.9}N光伝搬層
 808...InGa_{0.9}N多重量子井戸活性層
 809...p型Ga_{0.9}N光伝搬層
 810...p型AlGa_{0.9}Nクラッド層
 811...p型InGa_{0.9}N層
 812...p型コンタクト層
 10 813...n型コンタクト電極
 814...絶縁膜
 815...p型コンタクト電極
 901...基板
 902...バッファ層
 903...n型Ga_{0.9}N層
 904a...成長抑制膜
 904b...成長抑制膜
 905...n型InGa_{0.9}N再成長層
 906...n型AlGa_{0.9}Nクラッド層
 20 907...n型Ga_{0.9}N光伝搬層
 908...InGa_{0.9}N多重量子井戸活性層
 909...p型AlGa_{0.9}Nクラッド層
 910...p型Ga_{0.9}N光伝搬層
 911...p型Ga_{0.9}Nコンタクト層
 912...n型コンタクト電極
 913...絶縁膜
 914...p型コンタクト電極
 1001...Ga_{0.9}N基板
 1002...バッファ層
 30 1003...n型Ga_{0.9}N層
 1004...成長抑制膜
 1005...InGa_{0.9}N再成長層
 1006...n型AlGa_{0.9}Nクラッド層
 1007...n型Ga_{0.9}N光伝搬層
 1008...InGa_{0.9}N多重量子井戸活性層
 1009...p型Ga_{0.9}N光伝搬層
 1010...p型AlGa_{0.9}Nクラッド層
 1011...p型Ga_{0.9}Nコンタクト層
 1012...n型コンタクト電極
 40 1013...絶縁膜
 1014...p型コンタクト電極
 1101...Ga_{0.9}N基板
 1102...バッファ層
 1103...n型Ga_{0.9}N膜
 1104...n型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層
 1105...Ga_{0.9}N光伝搬層
 1106...InGa_{0.9}N多重量子井戸活性層
 1107...キャリアブロック層
 1108...p型Ga_{0.9}N光伝搬層
 50 1109...p型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層

1110…成長抑制膜
 1111…InGa_N再成長層
 1112…p型Ga_Nコンタクト層
 1113…n型電極
 1114…絶縁膜
 1115…p型電極
 1201…Ga_N基板
 1202…バッファ層
 1203…n型Ga_N層
 1204…成長抑制膜
 1205…InGa_N再成長層
 1206…n型AlGa_Nクラッド層
 1207…n型Ga_N光伝搬層
 1208…InGa_N多重量子井戸活性層
 1209…p型Ga_N光伝搬層
 1210…p型AlGa_Nクラッド層
 1211…p型Ga_Nコンタクト層
 1212…n型コンタクト電極
 1213…絶縁膜
 1214…p型コンタクト電極
 1301…Ga_N基板
 1302…バッファ層
 1303…n型Ga_N層
 1304a…成長抑制膜
 1304b…成長抑制膜
 1305…InGa_N再成長層
 1306…n型AlGa_Nクラッド層
 1307…n型Ga_N光伝搬層
 1308…InGa_N多重量子井戸活性層
 1309…p型Ga_N光伝搬層
 1310…p型AlGa_Nクラッド層
 1311…p型Ga_Nコンタクト層
 1312…n型コンタクト電極
 1313…絶縁膜
 1314…p型コンタクト電極
 1401…Ga_N基板
 1402…バッファ層
 1403…n型Ga_N層
 1404a…成長抑制膜
 1404b…成長抑制膜
 1405…n型InGa_N再成長層
 1406…n型AlGa_Nクラッド層
 1407…n型Ga_N光伝搬層
 1408…InGa_N多重量子井戸活性層
 1409…p型Ga_N光伝搬層
 1410…p型AlGa_Nクラッド層
 1411…p型InGa_N再成長層
 1412…p型Ga_Nコンタクト層
 1413…n型コンタクト電極
 1414…絶縁膜

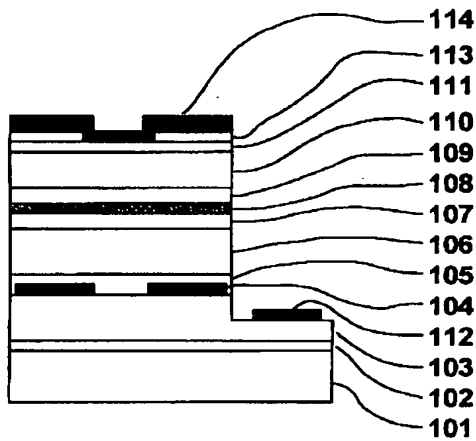
1415…p型コンタクト電極
 1501…Ga_N基板
 1502…バッファ層
 1503…n型Ga_N層
 1504a…成長抑制膜
 1504b…成長抑制膜
 1505…InGa_N再成長層
 1506…n型AlGa_Nクラッド層
 1507…n型光ガイド層
 10 1508…多重量子井戸活性層
 1509…p型光ガイド層
 1510…p型AlGa_Nクラッド層
 1511…p型コンタクト層
 1512…n型コンタクト電極
 1513…絶縁膜
 1514…p型コンタクト電極
 1601…Ga_N基板
 1602…バッファ層
 1603…n型Ga_N層
 20 1604…成長抑制膜
 1605…InGa_N再成長層
 1606…n型AlGa_Nクラッド層
 1607…n型Ga_N光伝搬層
 1608…InGa_N多重量子井戸活性層
 1609…p型Ga_N光伝搬層
 1610…p型AlGa_Nクラッド層
 1611…p型Ga_Nコンタクト層
 1612…n型コンタクト電極
 1613…絶縁膜
 30 1614…p型コンタクト電極
 S…成長抑制膜の間隔
 W_p…電流注入間隙
 1701…Ga_N基板
 1702…バッファ層
 1703…n型Ga_N膜
 1704…n型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層
 1705…Ga_N光伝搬層
 1706…InGa_N多重量子井戸活性層
 1707…キャリアブロック層
 40 1708…p型Ga_N光伝搬層
 1709…p型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層
 1710…成長抑制膜
 1711…InGa_N再成長層
 1712…p型Ga_Nコンタクト層
 1713…n型電極
 1714…絶縁膜
 1715…p型電極
 1801…Ga_N基板
 1802…バッファ層
 50 1803…n型Ga_N層

1804…成長抑制膜
 1805…InGa_N再成長層
 1806…n型AlGa_Nクラッド層
 1807…n型Ga_N光伝搬層
 1808…InGa_N多重量子井戸活性層
 1809…p型Ga_N光伝搬層
 1810…p型AlGa_Nクラッド層
 1811…p型Ga_Nコンタクト層
 1812…n型コンタクト電極

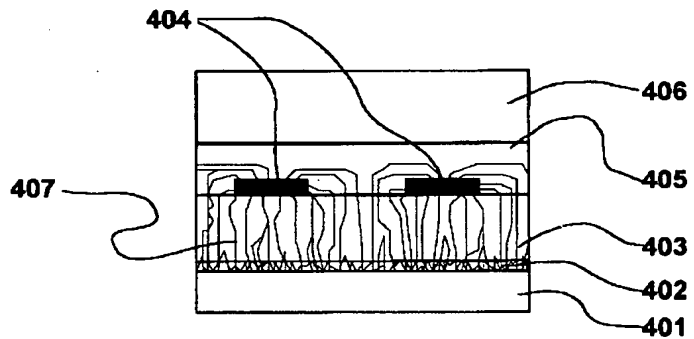
* 1813…絶縁膜
 1814…p型コンタクト電極
 M…成長抑制膜の幅
 M1…成長抑制膜を再成長n型InGa_N層が被覆した部分の幅
 M2…成長抑制膜を再成長n型InGa_N層が被覆した部分の幅
 W_p…電流注入間隙

*

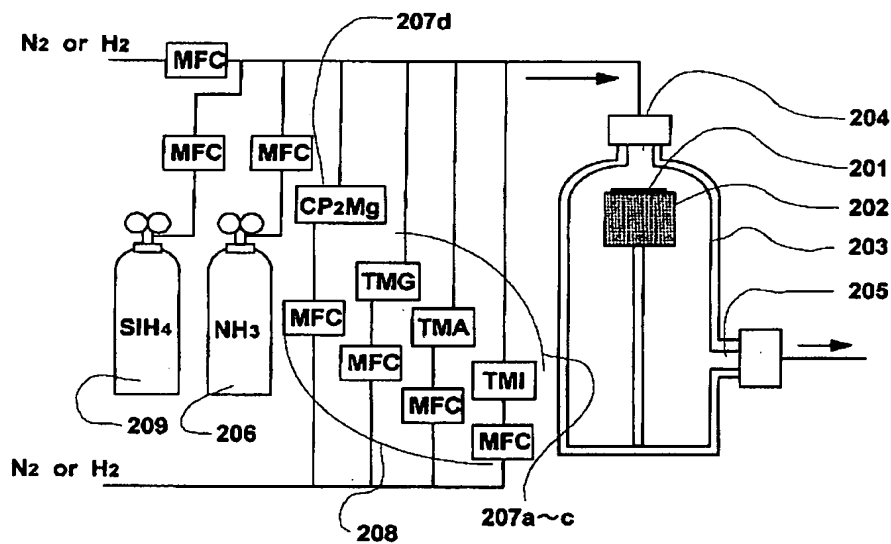
【図1】



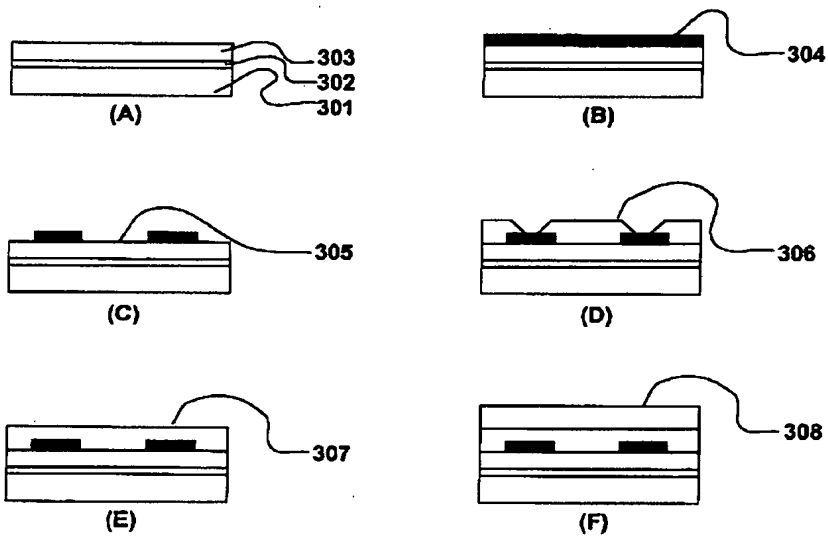
【図4】



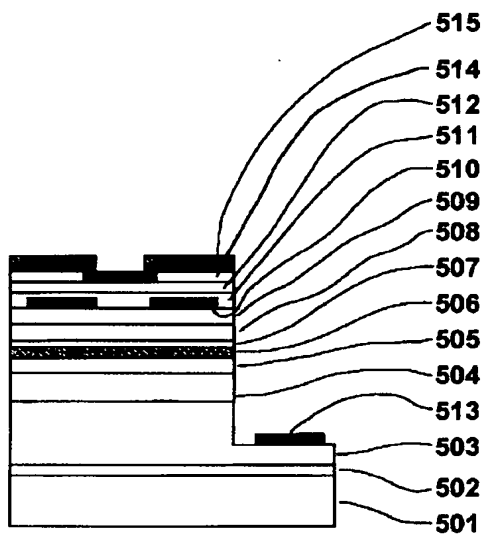
【図2】



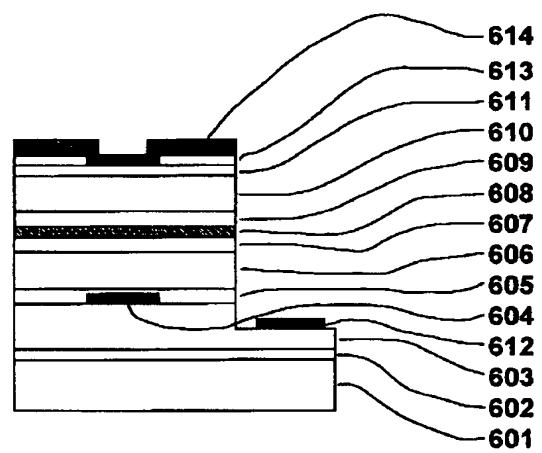
【図 3】



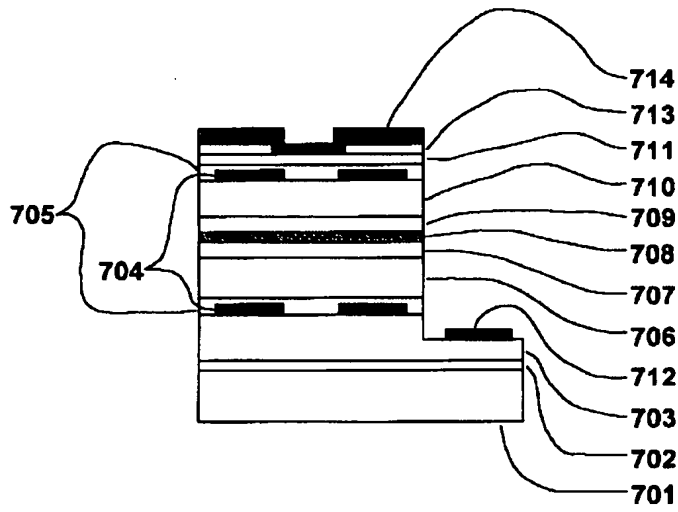
【図 5】



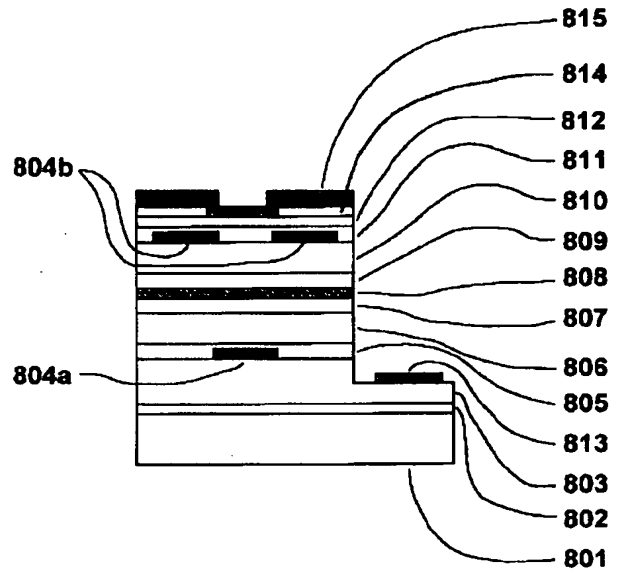
【図 6】



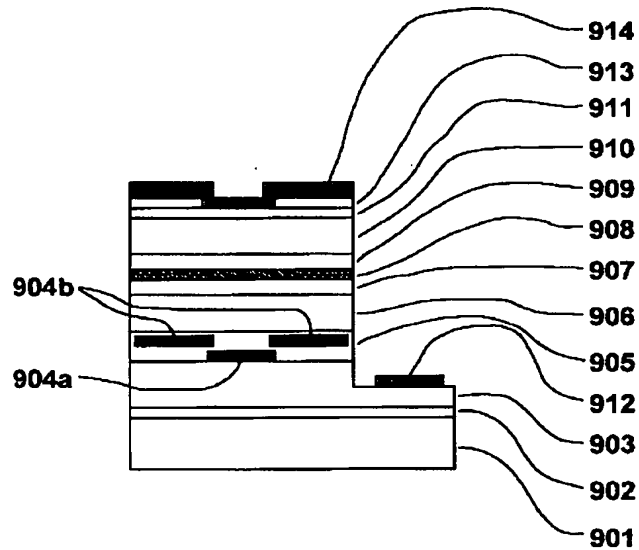
【図 7】



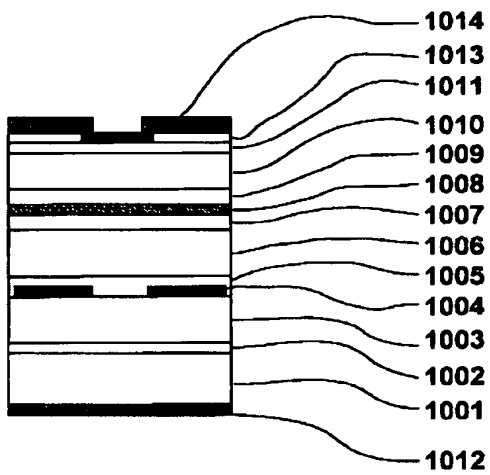
【図 8】



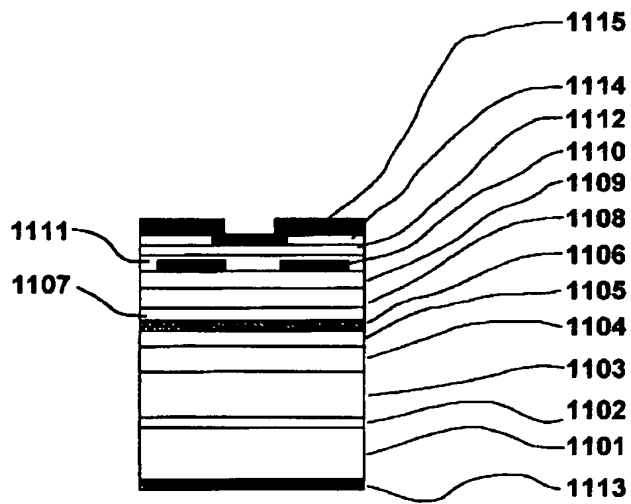
【図 9】



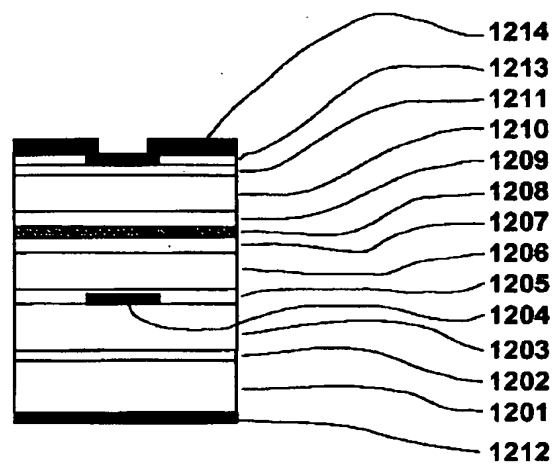
【図 10】



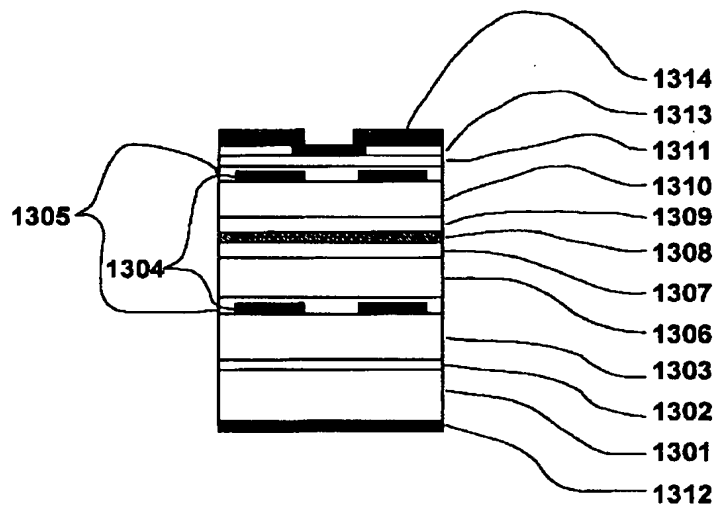
【図11】



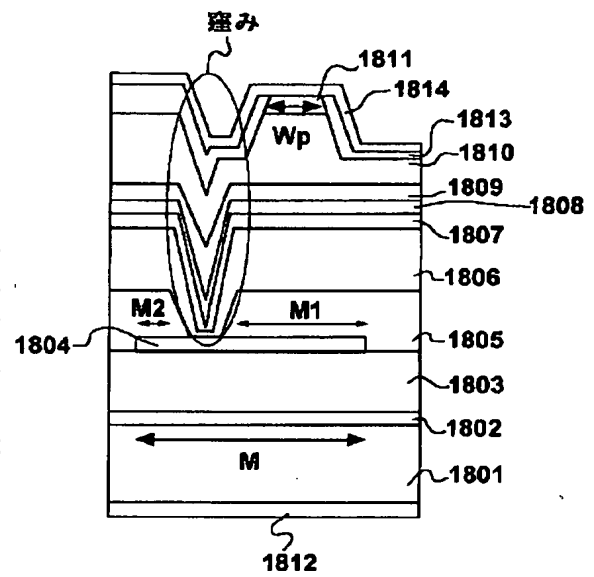
【図12】



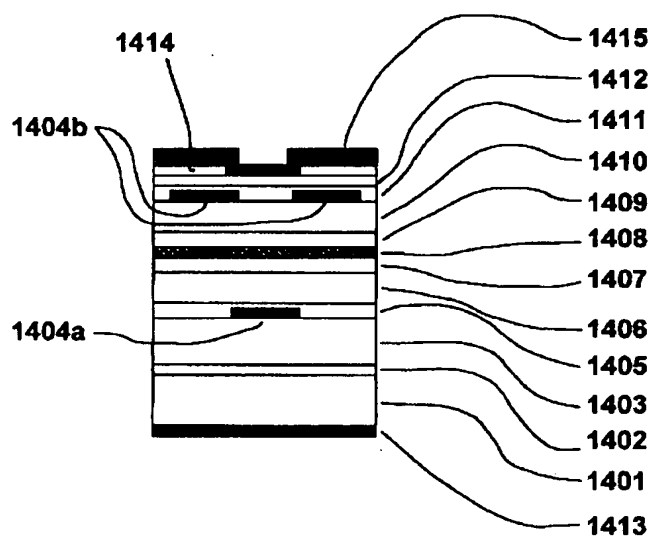
【図13】



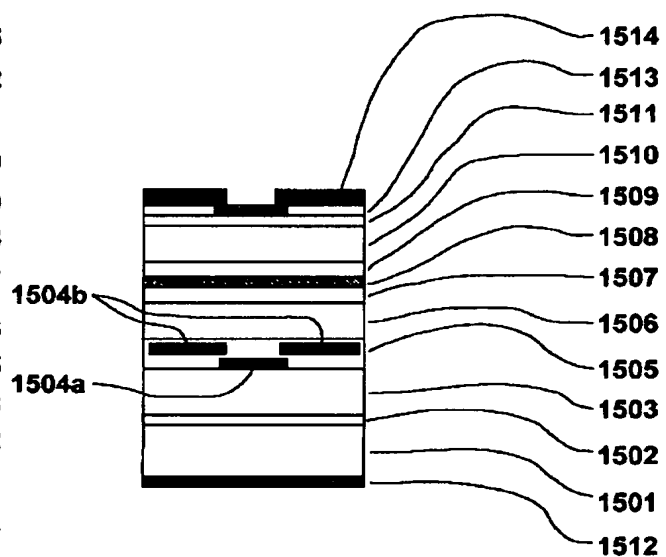
【図18】



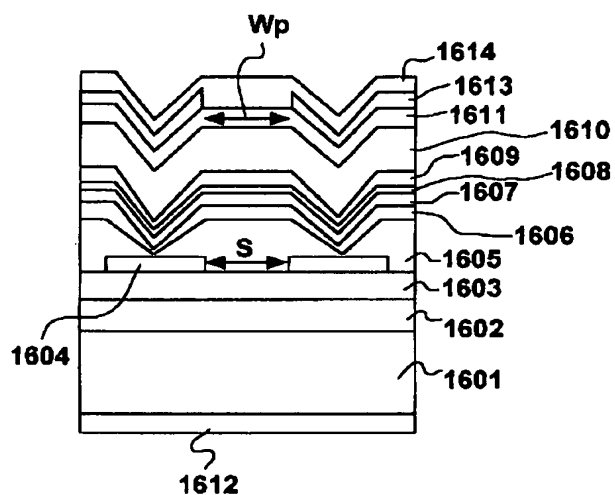
【図14】



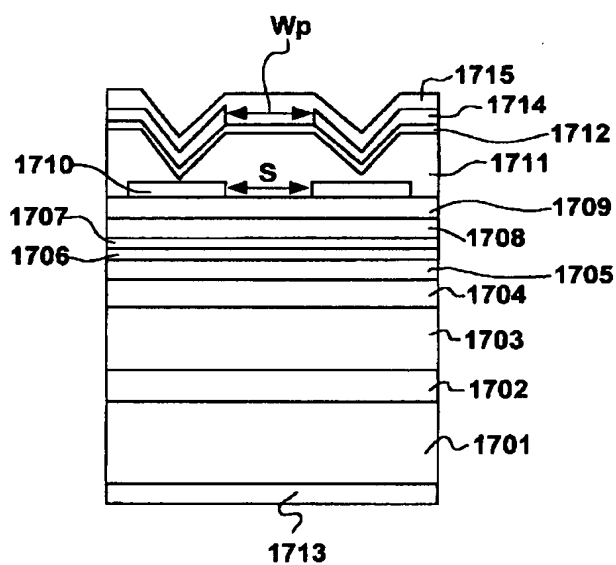
【図15】



【図16】



【図17】



フロントページの続き

(72)発明者 小河 淳
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ャープ株式会社内

(72)発明者 津田 有三
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ャープ株式会社内

(72)発明者 荒木 正浩
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ャープ株式会社内